



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISA PENGARUH SUDUT KARBON TWILL DAN
FIBER E-GLASS DENGAN CORE POLYURETHANE PADA
KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN METODE
BAGGING VACUUM DAN PENGUJIAN THREE POINT
BENDING**

**NINDYA SARI
NRP 10211500000023**

**Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP 19601025 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISA PENGARUH SUDUT KARBON TWILL DAN
FIBER E-GLASS DENGAN CORE POLYURETHANE PADA
KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN METODE
BAGGING VACUUM DAN PENGUJIAN THREE POINT
BENDING**

**NINDYA SARI
NRP 10211500000023**

**Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP 19601025 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**INFULENCE ANALISIS OF ANGEL CARBON TWILL AND
FIBER E-GLASS WITH CORE POLYURETHANE AT
SANDWICH COMPOSITE USES BAGGING VACUUM
METHOD AND THREE POINT BENDING TESTING**

NINDYA SARI
NRP 10211500000023

COUNSELOR LECTURER
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP 19601025 198701 1 001

Diplome III Program
Industrial Mechanical Engineering Departement
Faculty Of Vocation
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2018

**ANALISA PENGARUH SUDUT KARBON TWILL DAN
FIBER E-GLASS DENGAN CORE POLYURETHANE
PADA KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN
METODE BAGGING VACUUM DAN PENGUJIAN THREE
POINT BENDING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin Industri
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

Nindya Sari

NRP. 10211500000023



Surabaya, Juli 2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA PENGARUH SUDUT KARBON TWILL DAN FIBER E-GLASS DENGAN CORE POLYURETHANE PADA KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN METODE BAGGING VACUUM DAN PENGUJIAN THREE POINT BENDING

Nama Mahasiswa : Nindya Sari
NRP : 10211500000023
Jurusan : Teknik Mesin Industri FV ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

ABSTRAK

Nogogeni adalah salah satu jenis kendaraan yang dirancang untuk kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, efisiensi tinggi yang akan menghadapi perlombaan nasional dan internasional. Untuk mencapai rancangan tersebut maka tim harus mereduksi berat pada kendaraan, yaitu dengan menggunakan bahan bodi mobil yang lebih ringan untuk didapatkan nilai efisiensi yang tinggi.

Penelitian diawali dengan proses komposit sandwich menggunakan proses hand lay up. Setelah komposit sandwich tersusun lalu tata perlengkapan untuk bagging vacuum, rangkai komposit sandwich dengan pompa vacuum dan nyalakan pompa, tunggu hingga ± 4 jam. Hasil cetakan dipotong menggunakan gerinda tangan dengan variasi sudut 0° , 30° , 45° dan mengacu pada ukuran untuk spesimen bending ASTM C393. Setelah pemotongan selesai dilakukan pengujian bending dengan menggunakan metode three point bending. Foto makro pada setiap spesimen yang telah diuji bending untuk mengetahui jenis kegagalan pada komposit.

Dengan menggunakan variasi arah sudut serat didapat hasil bahwa nilai kekuatan bending mengalami ketidakstabilan, untuk kekuatan bending maksimalnya pada arah sudut serat 45° sebesar 6,907 Mpa, sedangkan untuk kekakuan bending maksimalnya pada arah sudut serat 0° sebesar $53,536 \times 10^3$ Nmm². Model kegagalan komposit sandwich serat karbon fiber dengan core polyurethane

akibat pengujian bending berupa indentation, facesheet debonding, matrix cracking.

Kata kunci : Komposit Sandwich, Bagging Vacuum, Uji Bending, Foto Makro.

INFULENCE ANALISIS OF ANGEL CARBON TWILL AND FIBER E-GLASS WITH CORE POLYURETHANE AT SANDWICH COMPOSITE USES BAGGING VACUUM METHOD AND THREE POINT BENDING TESTING

Student name : Nindya Sari
NRP : 10211500000023
Department : Teknik Mesin Industri FV ITS
Final Project Adviser : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

ABSTRAK

Nogogeni is a one of the types of vehicles which are designed to join the race vehicle energy saving, environment friendly, high efficiency which will face national and international competition. To achieve the design teams had to reduce the weight of the vehicle, with the use of car material body obtained high efficiency values.

Research begins with the process of composite sandwich used the process of hand lay up. After the composite sandwich are assembled and then vacuum bagging equipment, sets composite sandwich with a vacuum pump and turn on the pump, wait up to \pm 4 hours. The results of the mold is cut using a hand grinding with the variation of angle of 0° , 30° , 45° and refers to the size of the specimens to ASTM C393 bending. After cutting was completed, after that testing bending with three point bending method of his own. Macro photos on each specimen has been tested to find out which type of bending failures in composite.

Using the variations of angular direction of fibre obtained result that value the power of bending experience instability, for the strength of bending in the direction of the maximum angle of 45° fibre 6.907 Mpa, while for maximum bending stiffness in direction angle fiber 0° of $53.536 \times 10^3 \text{ Nmm}^2$. composite sandwich failure Model carbon fiber fiber polyurethane core test result with a bending form of indentation, facesheet debonding, matrix cracking.

Kata kunci : Komposit Sandwich, Carbon Fiber, Core Polyurethan, Bending Testers.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung yang terlibat didalam Tugas Akhir ini.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai ilmu bahan yang terkait dengan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Suharianto, MT selaku koordinator tugas akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir dan Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Para Dosen Penguji selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
6. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan do'a dan dukungan penuh baik secara moral maupun material. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
7. Muhammad Adietya Nugraha atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman yang berada di group #bismillah118 dan Adiet's Angel yang selalu menemani keseharian saya dan memberikan motivasi, serta keluh kesah, masukan beserta

semangat selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

9. Rohmadoni dan M Ardian Rahman yang telah membantu memberikan saran dan membantu dalam praktikum percobaan.
10. Nogogeni ITS Team 2017/2018 yang berpartisipasi membantu dan memberikan fasilitas dalam mengerjakan tugas akhir ini.
11. Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah memfasilitasi pengujian dalam tugas akhir ini.
12. Seluruh teman-teman angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
13. Yunita Kartiksari, Rofiqi Mohamad, Nabella Pravitasari, Siti Nurmalasari, Imroatul Jamila, selaku teman SMA yang telah memberikan motivasi dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Meutia Faradilla Firdausy selaku teman kerja praktik dan teman berkeluh kesah serta saling memotivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini
15. Serta berbagai pihak yang belum tertulis tetapi sangat berarti dalam penulisan tugas akhir ini.

Semoga segala keikhlasan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah yang Maha Esa.

Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis berharap Tugas Akhir ini dapat dikembangkan dan disempurnakan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
BAB II.....	6
DASAR TEORI.....	6
2.1 Pengertian Komposit	6
2.1.1 Komposit fiber.....	9
2.1.2 Komposit Partikel.....	10
2.1.3 Komposit Struktur	11
2.2 Komposit Sandwich	12
2.3 Bagian-Bagian dari Komposit Sandwich	13
2.3.1 Serat (Skin).....	13
2.3.2 Inti (Core).....	22
2.3.3 Ripoxy R-802 EX-1.....	24
2.3.4 PVA (polyvinyl alcohol)	25
2.4 Metode Hand Lay Up	26
2.5 Baagging Vacuum	27
2.6 Pengujian Bending berdasarkan standar ASTM C393	29
2.7 Modus Kegagalan pada Komposit.....	30
BAB III.....	32
METODELOGI.....	32
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	33

3.1.1	Alat	33
3.1.2	Bahan.....	33
3.2	Proses Pembuatan.....	33
3.2.1	Penyiapan Bahan	33
3.2.2	Proses Pengerjaan Spesimen	35
3.3	Pengujian Spesimen Uji Bending.....	37
BAB IV		40
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Hasil Pengujian Bending Komposit Sandwich Core Polyurethane.....	40
4.1.1	Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich.....	42
4.1.2	Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Momen Bending Komposit Karbon	43
4.1.3	Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Tegangan Geser Core Komposit Sandwich.....	44
4.1.4	Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Kekakuan Komposit Sandwich	45
4.2	Hasil Pengamatan Patahan Spesimen Uji Bending	46
4.2.1	Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 0°	48
4.2.2	Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 30°	49
4.2.3	Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 45°	50
BAB V		54
KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema klasifikasi material komposit	6
Gambar 2.2.	Komposit Serat.	7
Gambar 2.3.	Komposit partikel.	8
Gambar 2.4.	Komposit Struktur.	9
Gambar 2.5.	Struktur komposit sandwich	11
Gambar 2.6.	Parameter fiber dalam pembuatan komposit	12
Gambar 2.7.	Continous fiber composite.....	13
Gambar 2.8.	Woven fiber composite.....	14
Gambar 2.9.	Chopped fiber composite.....	14
Gambar 2.10.	Tipe discontinuous fiber	15
Gambar 2.11.	Hybrid fiber composite	15
Gambar 2.12.	Skema perbandingan kekuatan pada kurva tehangan geser dan normal inti berbagai jenis material	21
Gambar 2.13.	PVAL release agent	25
Gambar 2.14.	Proses Hand Lay Up. Sumber (Abanat dkk,1996)	25
Gambar 2.15.	Proses bagging vacuum	27
Gambar 2.16.	Pengujian Three Point Bending panel komposit sandwich.....	28
Gambar 3.1.	a. Campuran resin yang telah di ukur menggunakan timbangan. b. Polyurethane komponen A dan komponen B	33
Gambar 3.2.	Proses pembuatan komposit metode vacuum bagging	36
Gambar 3.3.	Skema pengujian bending komposit sandwich.	36
Gambar 3.4.	Sketsa dimensi benda uji	37
Gambar 4.1.	Perbandingan rata-rata tegangan bending komposit sandwich terhadap arah sudut serat...	40
Gambar 4.2.	Perbandingan momen komposit sandwich terhadap arah sudut serat	41

Gambar 4.3.	Perbandingan tegangan geser core komposit sandwich terhadap variasi arah sudut serat.....	42
Gambar 4.4.	Perbandingan kekakuan terhadap arah sudut serat komposit sandwich.	43
Gambar 4.5.	(a) Spesimen 0° setelah pengujian bending (b) Spesimen 30° setelah pengujian bending (c) Spesimen 45° setelah pengujian bending.	45
Gambar 4.6.	Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 0°	46
Gambar 4.7.	Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 30°	47
Gambar 4.8.	Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 45°	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sifat-sifat dari jenis-jenis fiber-glass	17
Tabel 2.2.	Spesifikasi serat E-Glass.....	17
Tabel 2.3.	Kelebihan dan Kekurangan Fiber.	18
Tabel 2.4.	Propertise polyuretane.	22
Tabel 2.5.	Bahan vacuum infusion	27
Tabel 2.6.	Alat vacuum infusion	28
Tabel 4.1.	Hasil Uji Bending Komposit Sandwich.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mahasiswa jurusan D3 Teknik Mesin mempunyai sebuah tim mobil listrik bernama Nogogeni. Nogogeni adalah salah satu jenis kendaraan yang dirancang untuk mengikuti lomba kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, efisiensi tinggi yang akan menghadapi perlombaan nasional dan internasional. Untuk dapat bersaing dengan peserta-peserta lain yang menggunakan teknologi-teknologi yang diambil dari perkembangan industri otomotif maka tim dituntut untuk selalu mempunyai inovasi dalam hal efisien seperti mereduksi berat. reduksi berat dilakukan karena semakin ringan berat mobil maka kinerja motor penggerak akan semakin ringan juga, hal ini berpengaruh terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan juga. Salah satu bagian dari mobil yang masih dapat direduksi massanya adalah bodi kendaraan.

Istilah komposit diartikan sebagai penggabungan dua material atau lebih secara “makroskopis”. Makroskopis sendiri menunjukkan bahwa material pembentuk dalam komposit masih terlihat seperti aslinya. Salah satu jenis material komposit yang digunakan pada industri adalah komposit sandwich. Pada prinsipnya komposit sandwich terdiri dari dua kulit (skin) permukaan dengan material inti (core) yang berbeda diantaranya. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Melalui material komposit tersebut tim Nogogeni pun melakukan riset untuk menentukan bahan yang akan digunakan pada bodi sehingga didapatkan beban yang ringan agar didapat pemakaian bahan bakar sehemat mungkin.

Dalam proses manufaktur komposit banyak metode yang dapat dipergunakan semerti hand lay up, bagging vacuum,

vacuum assisted resin infusion (VARI). Dalam penelitian ini digunakan metode bagging vacuum dikarenakan prosesnya yang tidak melibatkan tekanan tinggi dan lebih ekonomis. Selain itu, proses bagging vacuum dapat mengurangi efek pengotoran yang banyak terjadi pada proses hand lay up dan menimbulkan kurang optimalnya sifat material komposit. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan material yang mana akan digunakan untuk pembuatan bodi kedepannya. Dengan membandingkan hasil pengujian eksperimen tersebut maka hasil yang diperoleh dapat dijadikan sebagai dasar perbandingan pemilihan komposisi bahan yang tepat dengan variasi sudut yang pas untuk Nogogeni generasi selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Pada permasalahan ini yang menjadi permasalahan pokok adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut fiber terhadap hasil pengujian bending pada komposit sandwich?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut fiber pada komposit sandwich terhadap bentuk/model kerusakan yang terjadi akibat beban bending?

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi sudut fiber terhadap hasil pengujian bending pada komposit sandwich.
2. Menganalisa pengaruh variasi sudut fiber pada komposit sandwich terhadap bentuk/model kerusakan yang terjadi akibat beban bending.

1.4 Batasan Masalah

Agar masalah tidak melebar dari pembahasan utama, maka permasalahan hanya dibatasi pada :

1. Pengujian komposit sandwich dengan paduan :
 - Karbon Fiber Twil dan Fiber Glass WR300
 - Matrix resin carbon fiber
 - Core polyurethane rigid foam
2. Pengujian komposit berupa uji bending dengan metode three point bending.
3. Tidak membahas reaksi kimia antara Resin, Katalis, Fiber Glass dan Core
4. Void diabaikan
5. Permukaan spesimen uji dianggap rata
6. Persebaran serat dianggap sempurna
7. Takaran pada resin dianggap sama

1.5 Metode Penelitian

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, hasil penelitian dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai komposit sandwich, mekanika struktur komposit, inti (core) dan serat (fiber), konsep metode produksi hand lay up dan bagging vacuum serta konsep pengujian bending.

BAB III METODOLOGI ALAT

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang diagram alur penelitian, data spesimen yang digunakan, metode manufaktur, metode

pengujian yang digunakan dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan analisa data seperti diskusi yang menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian. Analisa kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dan hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perdana (2016), menguji kekuatan bending berpenguat serat e-glass dengan variasi sudut 0° , 30° , 45° dengan core polyurethane rigid foam, pembuatan komposit dengan metode hand lay up. Diperoleh kekuatan bending tertinggi pada komposit dengan sudut serat 0° yaitu 1,33 MPa, dengan momen bending 17845,4 Nmm dan core shear ultimate stress 0,099 Mpa.

Menurut penelitian Ardiyanto (2014), menjelaskan bahwa metode hand lay up masih kurang maksimal dikarenakan pada proses ini menyebabkan spesimen menjadi kotor dan dimensi sulit dijaga akurasi. Masih terdapat void pada spesimen yang menyebabkan penyebaran serat tidak merata sehingga dihasilkan kekakuan dan kekuatan yang tidak cukup tinggi. Maka perlu adanya upgrade metode yang lebih modern dalam proses pembuatannya.

Febriyanto (2011), telah melakukan penelitian tentang bahan uji komposit sandwich. Material komposit sandwich yang dibuat menggunakan metode VARI dengan material inti berupa PU-foam dan material kulit berupa E-glass memiliki kekuatan tarik dengan nilai kuat tarik rata-rata berkisar antara 7 sampai 30 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata berkisar antara 4 sampai 6 MPa. Nilai dari kekuatan mekanik ini merupakan nilai-nilai yang cukup tinggi untuk diaplikasikan pada pembuatan komponen kapal bersayap. Penggunaan material PU-foam ternyata dapat meningkatkan stabilitas dari material komposit sandwich, kuat tarik dan tekan lebih baik, serta tahanan geser yang dapat dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan.

Penelitian yang saya lakukan adalah menganalisa pengaruh sudut karbon twill dan fiber e-glass dengan menggunakan core polyurethane rigid foam. Yang pertama

dilakukan adalah menyusun komposmpist sandwich pada cetakan dengan metode hand lay up. Setelah komposit sadwich tersusun maka dilanjutkan dengan menyusun peralatan untuk proses pengvacuuman dengan metode vacuum bagging. Setelah proses vacuum selesai akan dilakukan pemotongan dengan sudut 0° , 30° , 45° . Lalu dilakukan pengujian three point bending dan akan dilakukan foto makro dari hasil pengujian

2.2 Pengertian Komposit

Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Kata kunci disini adalah makroskopis. Ini berbeda dengan paduan atau alloy, yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara makroskopis. Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, yang pada paduannya sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit disini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (fiber) dan bahan pengikat serat-serat yang disebut matriks. Unsur utama bahan komposit adalah serat. Serat ini lah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit. Serat lah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit. Sedang matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Karena itu bahan serat digunakan bahan yang kuat dan getas, seperti: karbon, kaca dan boron. Sedangkan bahan matriks dipilih bahan-bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak (aluminium, tembaga, dsb.nya).

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (reinforcement), yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat.

2. Matrik, umumnya lebih ductile tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

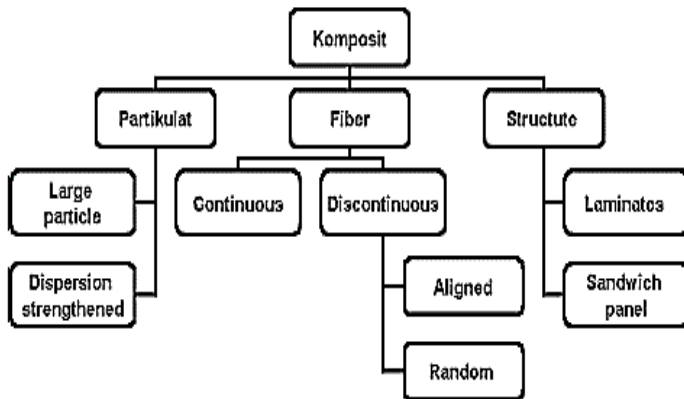
Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang diperbaharui antara lain :

Sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain :

- a) Kekuatannya (strength)
- b) Kekakuannya (stiffness)
- c) Ketahanan terhadap korosi (corrosion resistance)
- d) Pengurangan berat material (weight)
- e) Ketahanan gesek/aus (wear resistance)
- f) Ketahanan lelah (fatigue life)
- g) Meningkatkan konduktifitas panas
- h) Tahan lama

Secara alami kemampuan tersebut diatas tidak ada semua pada waktu yang bersamaan . Sekarang ini perkembangan teknologi komposit mulai berkembang dengan pesat. Komposit sekarang ini digunakan dalam berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan alat-alat olahraga seperti ski, golf, raket tenis dan lain-lain.

Untuk klasifikasi secara menyeluruh, dijelaskan pada Gambar 2.1 yang mencakup tipe dan jenis dari tiap-tiap klasifikasi utama.

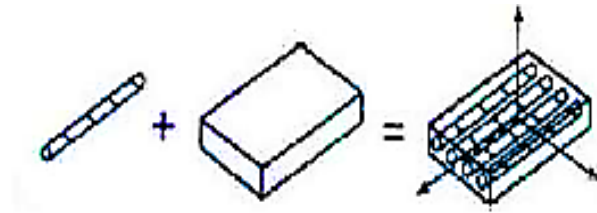


Gambar 2.1. Skema klasifikasi material komposit.

2.2.1 Komposit fiber

Komposit fiber adalah komposit yang terdiri dari fiber dalam matriks. Secara alami serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah (bulk). Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat / fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa fibers glass, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide), dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi serta diameternya berukuran mendekati kristal. Serat juga mempunyai kekuatan dan kekakuan terhadap densitas yang besar.

Skema komposit dengan serat sebagai penguatnya dapat kita lihat pada gambar berikut:



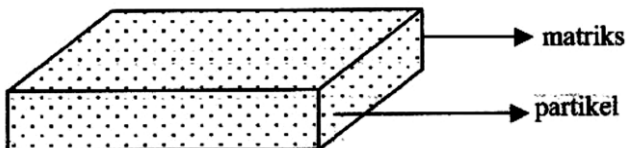
Gambar 2.2. Komposit Serat.

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan oleh serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum, oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Fiber yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut:

1. Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulknya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari bulknya.
2. Harus mempunyai tensile strength yang tinggi.

2.2.2 Komposit Partikel

Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya.



Gambar 2.3. Komposit partikel

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama, yang kerap disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang ditenamkan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat. Struktur komposit dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran-lembaran.

2.2.3 Komposit Struktur



Gambar 2.4. Komposit Struktur

Komposit struktural dibentuk oleh reinforce-reinforce yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan lamina ini menjadi laminate dinamakan proses laminasi. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (unidirectional lamina) pada umumnya tidak

menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk laminate yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur. dan struktur sandwich.

2.3 Komposit Sandwich

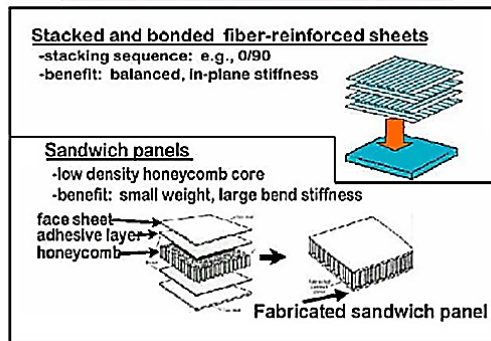
Material komposit sandwich disebut juga dengan panel sandwich, material komposit sandwich terdiri dari panel kulit yang kuat pada sisi atas dan bawah, dan keduanya dipisahkan oleh lapisan bagian dalam material dengan densitas kecil, yang disebut dengan core (inti). Lapisan ini memiliki karakteristik mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan kulitnya.

Lapisan kulitnya berfungsi sebagai penahan utama dari gangguan berupa gaya dan tekanan dari luar. Material yang digunakan sebagai lapisan kulit adalah campuran aluminium alloy, plastik berpenguat serat, titanium, besi, dan kayu lapis. Sedangkan bagian inti memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antar kedua permukaan sehingga memiliki ketebalan tertentu dan sebagai penahan deformasi dari tegangan geser yang dialami material saat berhadapan dengan gaya dari luar. Material yang cocok digunakan sebagai inti merupakan material yang bersifat elastis dan tahan terhadap tekanan dari luar seperti polimer foam, karet sintetis, perekat inorganik, dapat juga menggunakan kayu balas.

Core yang biasa dipakai adalah core import, seperti polyuretan (PU), polyvinyl Chloride (PVC), dan honeycomb. Komposit sandwich merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit sandwich dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk

komposit sandwich, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit sandwich dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

Structural Composites



Gambar 2.5. Struktur komposit sandwich

2.4 Bagian-Bagian dari Komposit Sandwich

2.4.1 Serat (Skin)

Serat dikelaskan dalam dua bagian besar yaitu serat alam dan serat buatan. Serat alam adalah serat yang didapat dari alam seperti serat daun nanas, kapas, wol, sutra, pelepah pisang dan serat alam yang lainnya, sedangkan serat buatan (sintetik) seperti nilon, fiber glass, carbon dan serat buatan lainnya. Setiap serat buatan terdiri dari rantai polimer, dan kebanyakan merupakan polimer berkrystal, sehingga sifat kimianya bergantung kepada struktur rantai polimer tersebut. Secara umum dapat dikatakan

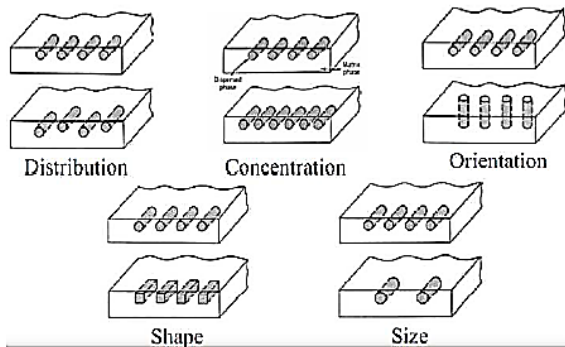
bahwa fungsi serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kuat, tangguh dan lebih kokoh dibanding dengan tanpa serat penguat, selain itu juga menghemat resin.

Serat atau fiber dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakinkuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material.

Selain itu serat (fiber) juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlh nantinya yang akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dsb.

Fiber yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut :

- a) Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulknya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari bulknya.
- b) Harus mempunyai tensile strength yang tinggi
Parameter fiber dalam pembuatan komposit, yaitu sebagai berikut:
 - Distribusi
 - Konsentrasi
 - Orientasi
 - Bentuk
 - Ukuran



Gambar 2.6. Parameter fiber dalam pembuatan komposit

Proses produksi pada fiber-carbon yaitu sebagai berikut :

1. Open Mold Process
 - a. Hand lay-up
 - b. Spray Lay-Up
 - c. Vacuum Bag Moulding
 - d. Filament Winding
2. Closed Mold Process
 - a. Resin Film Infusion
 - b. Pultrusion

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu :

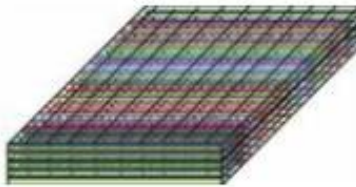
- a) Continous fiber composite (komposit diperkuat dengan serat komtinue).



Gambar 2.7. Continous fiber composite

Continuous atau uni-directional, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

- b) Woven fiber composite (komposit diperkuat dengan serat anyaman).



Gambar 2.8. Woven fiber composite

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe continuous fiber.

- c) Chopped fiber composite (komposit diperkuat serat pendek/acak).

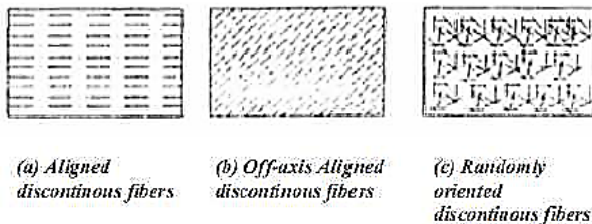


Gambar 2.9. Chopped fiber composite

Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi :

- Aligned discontinuous fiber
- Off-axis aligned discontinuous fiber
- Randomly oriented discontinuous fiber

Randomly oriented discontinuous fiber merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.



Gambar 2.10. Tipe discontinuous fiber

- d) Hybrid composite (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).



Gambar 2.11. Hybrid fiber composite

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.

Jenis fiber yang biasa digunakan untuk pembuatan komposit antara lain sebagai berikut :

1. Fiber-glass

Sifat-sifat fiber-glass, yaitu sebagai berikut :

- a. Density cukup rendah (sekitar 2,55 g/cc)
- b. Tensile strengthnya cukup tinggi (sekitar 1,8 GPa)
- c. Biasanya stiffnessnya rendah (70GPa)
- d. Stabilitas dimensinya baik
- e. Resisten terhadap panas dan dingin
- f. Tahan korosi
- g. Komposisi umum adalah 50-60% SiO₂ dan paduan lain yaitu Al, Ca, Mg, Na, dan lain-lain.

Keuntungan dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut:

1. Biaya murah
2. Tahan korosi
3. Biayanya relatif lebih rendah dari komposit lainnya
4. Biasanya digunakan untuk piing, tanks, boats, alat-alat olahraga

Kerugian dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut :

1. Kekuatannya relatif rendah
2. Elongasi tinggi
3. Kekuatan dan beratnya sedang (moderate)

Jenis-jenisnya antara lain :

1. E-glass
2. C-glass
3. S-glass

Tabel 2.1 Sifat-sifat dari jenis-jenis fiber-glass

No	<i>Jenis serat</i>		
	<i>E-glass</i>	<i>C-glass</i>	<i>S-glass</i>
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari <i>E-glass</i>	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>

Tabel 2.2 Spesifikasi serat E-Glass

Sifat mekanis	Satuan	Nilai
Berat Jenis	gram/cm ³	2.5
Modulus Elastisitas (E)	Gpa	7.3
Kekuatan tarik statis	Mpa	350
Elongation	%	4.8

Sumber : Autar K. Kaw, Mechanic of Composite Material

2. Fiber-nylon

Sifat-sifat fiber-nylon, yaitu sebagai berikut :

1. Dibuat dari polyamide
2. Lebih kuat, lebih ringan, tidak getas dan tidak lebih kaku dari karbon

3. Contoh merek nylon yaitu Kevlar (DuPont) dan Kwaron (Akzo)

3. Fiber-carbon

Sifat-sifat fiber-carbon, yaitu sebagai berikut :

1. Densitas karbon cukup ringan yaitu sekitar 2,3 g/cc.
2. Struktur grafit yang digunakan untuk membuat fiber berbentuk seperti kristal intan.
3. Mempunyai karakteristik yang ringan, kekuatan yang sangat tinggi, kekakuan (modulus elastisitas) tinggi.
4. Memisahkan bagian yang bukan karbon melalui proses
5. Terdiri dari + 90% karbon
6. Dapat dibuat bahan turunan : grafit yang kekuatannya dibawah serat karbon
7. Diproduksi dari Polyacrylnitril (PAN) tahap proses, yaitu sebagai berikut :
 - a. Stabilisasi = Peregangan dan oksidasi.
 - b. Karbonisasi = Pemanasan untuk mengurangi O, H, N
 - c. Grafitisasi = Meningkatkan
 - d. modulus elastisitas.

Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan Fiber

Fiber	Kelebihan	Kekurangan
Fiber-glass	1. Kekuatan tinggi 2. Relatif murah	Kurang elastis
Fiber-carbon	1. Kuat hingga sangat kuat 2. Stiffness(kuat+keras) besar 3. Koefisien pemuaian kecil 4. Menahan getaran	1. Agak getas 2. Nilai peregangan kurang 3. Agak mahal
Fiber-graphite	1. Lebih stiffness dari Carbon 2. Lebih ulet	Kurang kuat disbanding Carbon
Fiber-nylon(aramid)	1. Agak stiff (kuat+keras) & sangat ulet 2. Tahan terhadap benturan 3. Kekuatanya besar (lebih kuat dari baja) 4. Lebih murah dari carbon	1. Kekutan tekan lebih rendah dari carbon 2. Ketahanan panas lebih rendah dari carbon (hingga 180°C)

4. Hybride Fiber (kombinasi dari berbagai jenis serat)

(1) Glass Versus Carbon

- Meningkatkan shock resistance (tahan benturan)
- Meningkatkan fracture resistance (tahan patahan/ulet)
- Mengurangi biaya

(2) Glass Versus Nylon

- Meningkatkan kekuatan tekan
- Memperbaiki pemrosesan (manufaktur)
- Mengurangi biaya

(3) Carbon Versus Nylon

- Meningkatkan kekuatan tarik
- Meningkatkan kekuatan tekan
- Meningkatkan kekuatan pada pembengkokan

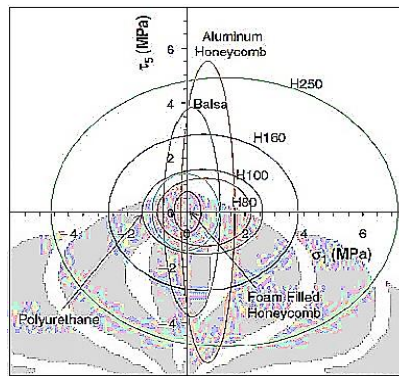
2.4.2 Inti (Core)

Bahan densitas tinggi yang digunakan untuk tujuan pembuatan core diperluas mencakup aluminium, titanium dan berbagai polimer. Struktur bahan core mempengaruhi bidang kontak permukaan antara skin dan core. Bahan expanded kepadatan tinggi biasanya memberikan bidang kontak jauh lebih kecil dibandingkan dengan material padat kepadatan rendah. Pilihan struktur yang sesuai untuk core memberikan parameter tambahan untuk merancang sebuah komposit sandwich sesuai spesifikasi yang diberikan atau kondisi layanan. Penggunaan core seperti busa sel tertutup terstruktur memberikan beberapa keuntungan yang berbeda atas busa sel terbuka terstruktur dan core. Kekuatan tekan spesifik busa sel dekat terstruktur jauh lebih tinggi. Mereka juga menyerap kelembapan dari busa sel terbuka terstruktur.

2.4.2.1 Core Polyurethane

Polyurethane adalah sebuah bahan atau material yang terdapat urethane grub (-NH-CO-O-) di dalamnya, dimana merupakan hasil reaksi dari campuran dua komponen bahan kimia Komponen A (POLYOL) dan Komponen B (ISOCYANATE) yang diaduk (mixing) secara bersama-sama, sehingga terjadi reaksi kimia (Curing) dan membentuk foam. Polyurethane terdapat dalam berbagai bentuk, seperti busa lentur, busa keras, pelapis anti bahan kimia, bahan perekat, dan penyekat, serta elastomers. Busa keras polyurethane digunakan sebagai bahan penyekat pada gedung, pemanas air, alat transport berpendingin,

serta pendingin untuk industri maupun rumah tangga. Busa ini juga digunakan untuk flotation dan pengaturan energi. Busa lentur polyurethane digunakan sebagai bahan pelembut pada karpet dan pelapis furniture, kasur, dan mobil. Busa tersebut juga digunakan sebagai pengepak barang. Perekat dan penyekat polyurethane digunakan dalam seperti di bidang konstruksi, transportasi, kapal, dan kegunaan lain yang membutuhkan kekuatan, tahan lembab, serta sifat tahan lama dari polyurethane tersebut. Mechanical properties dari polyurethane dapat dilihat dari tabel 2.5.



Gambar 2.12. Skema perbandingan kekuatan pada kurva tekanan geser dan normal inti berbagai jenis material

Dari gambar 2.12 diperlihatkan bahwa material inti jenis polyurethane memiliki batas tegangan geser yang lebih baik daripada honeycomb. Material polyurethane secara fisik memiliki rongga lebih rapat dibandingkan honeycomb, semakin banyak

rongga tegangan geser saat pengujian dapat dengan mudah mempengaruhi material.

2.4.3 Ripoxy R-802 EX-1

Ripoxy R-802 vinyl ester resin adalah salah satu resin dikembangkan dan diterapkan awal yang dihasilkan oleh Showa Highpolymer Co, Ltd, diperoleh dengan memodifikasi dari bisfenol A resin epoxy dan industrialisasi produksi telah direalisasikan, dan seluruh proses dikontrol oleh DCS. Memiliki daya tahan korosif yang sangat baik serat daya tahan panas yang tinggi. Hasil jadi memiliki karakteristik mekanik yang sangat baik dalam hal ketahanan dan elongasi. Ripoxy R 802 vinyl ester resin memiliki kelebihan seperti tahan terhadap zat asam, air, ketahanan pelarut organik dan lain-lain dan dapat digunakan dalam bidang perlindungan dari reaksi kimia. Vinyl ester merupakan jenis resin yang mempunyai ketahanan mekanis yang lebih baik daripada jenis polyester (Justus, 2005). Tipe resin ini belum berpromotor. Formula yang dianjurkan dari justus adalah penambahan promotor EX 0,6% dan katalis MEPOXE 2,5%.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, studi tentang komposit geopolimer merupakan hal yang sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut. Penggabungan antara resin Ripoxy R-802 vinyl ester dan clay diharapkan akan menjadi suatu komposit yang memiliki sifat ringan, kuat, tahan api, dan cocok sebagai produk inovatif pengganti logam pada roket dan struktur kendaraan seperti body, panel interior, dan lantai. Keberhasilan studi ini akan menghasilkan inovasi teknologi tahan api/bakar yang kuat dengan memanfaatkan geomaterial clay yang potensial sebagai pengganti logam.

Penambahan clay pada komposit epoksi/clay/serat gelas dapat meningkatkan kekuatan dimana penambahan clay yang optimum dicapai pada 1% fraksi berat. Penambahan clay di atas 1% fraksi berat dapat menurunkan kekuatan dari komposit epoksi/clay/serat gelas. Sedangkan untuk sifat material terhadap ketangguhan retak tertinggi komposit hibrid epoksi/clay/serat gelas dicapai pada 2% fraksi berat dan penambahan clay diatas 2% berat menurunkan ketangguhan retak.

Fraksi volume dan ukuran partikel komposit polyester resin berpenguat partikel genteng sangat berpengaruh pada sifat mekaniknya. Komposit dengan fraksi volume partikel 30% menghasilkan kekuatan lentur dan tarik yang lebih besar dari fraksi volume partikel 40% dan 50%. Pada ukuran partikel mesh 80-100 menghasilkan kekuatan ikatan/bonding antar partikel lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan luasan area bonding lebih luas dibandingkan dengan ukuran mesh 40-60 dan 60-80 (Siswanto, 2011).

2.4.4 PVA (polyvinyl alcohol)

Material yang digunakan untuk mempermudah pelepasan hasil produksi fiberglass dari cetakan. Dengan kata lain sebagai isolasi yang sangat tipis antara permukaan cetakan dari permukaan fiberglass

Release agent dilapiskan atau dikuaskan pada permukaan cetakan sebelum pelaminasian dilakukan. Salah satu contoh dari release agent adalah PVA. Bahan ini berupa cairan kimia berkelir biru menyerupai spiritus. Berfungsi untuk melapis antara master mal/cetakan dengan bahan fibreglass. Tujuannya adalah agar kedua bahan tersebut tidak saling menempel, sehingga fiberglass hasil cetakan dapat dilepas dengan mudah dari master mal atau cetakannya.

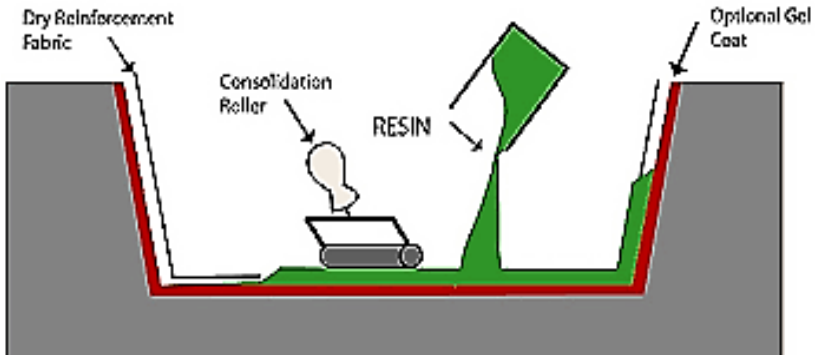


Gambar 2.13. PVAL Release Agent

2.5 Metode Hand Lay Up

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode hand lay up merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-metode manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah diaplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan roller / kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapat ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode hand lay up biasanya memiliki waktu curing pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu curing bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi void / gelembung udara yang terperangkap dalam laminat komposit. Secara umum metode hand lay up digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.14. Proses Hand Lay Up

Metode hand lay up banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode hand lay up antara lain :

1. Biaya murah
2. Prosesnya sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode hand lay up juga memiliki kekurangan antara lain :

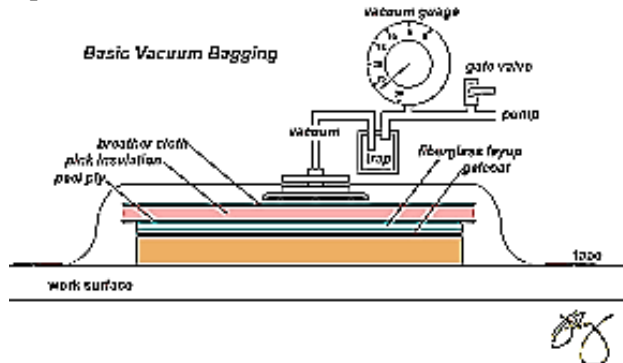
1. Biasanya dipakai untuk proto tipe dengan skala besar
2. Karena proses curing terbuka maka (pada temperature kamar) maka bau yang ditimbulkan perlu dipikirkan.
3. Kualitas produk antara komponen tidak konsisten.
4. Prosesnya kurang bersih.

2.6 Baagging Vacuum

Bagging Vacuum adalah salah satu perkembangan terbaru dalam hal proses manufaktur komposit. Dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan dalam hal manufaktur. Jika dibandingkan dengan hand lay up dan spray gun yang menggunakan tenaga dan skill manusia dalam hal manufaktur, untuk vacuum bagging hanya membutuhkannya

pada saat penataan serat saja. Proses spray up merupakan proses laminasi serat fiber dengan cara menyemprotkan potongan halus fiber dan resin secara bersamaan dengan menggunakan spry gun yang diberi tekanan udara.

Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah atau mold tempat diletakkannya komposit yang akan dilakukan proses pencetakan. Dengan dilakukan vakum dalam wadah atau mold tersebut maka udara yang berada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalisir.



Gambar 2.15 Proses bagging vacuum

Pada alat terdapat rangkaian atau penggabungan beberapa komponen dan bahan yang diperlukan untuk membuat produk. Berikut tabel komponen dan bahan yang diperlukan pada alat vacuum infusion.

Tabel 2.5. Bahan bagging vacuum

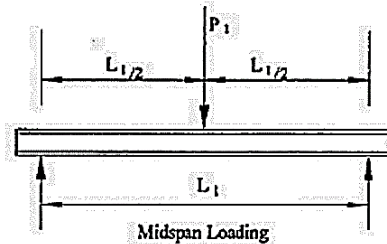
No.	Bahan
1.	Carbon fiber plain
2.	Resin csrbon fiber + katalis
3.	Core lantor soric

4.	PVA release agent
5.	Spray adhesiv

Tabel 2.6. Alat bagging vacuum

No.	Alat
1.	Pompa vacuum
2.	Sealent tape
3.	Peel ply
4.	Bagging film
5.	Catchpot
6.	Selang vacuum pvc 6mm
7.	Resin infusion silicon connector
8.	Clamp
9.	Spiral warp
10.	Flow media

2.7 Pengujian Bending berdasarkan standar ASTM C393



Gambar 2.17 Pengujian Three Point Bending panel komposit sandwich

Pada panel komposit sandwich yang dikenai uji three pont bending seperti gambar 2.2, besarnya tegangan geser pada core (core shear stress) dapat dihitung dengan persamaan (ASTM C 393) :

$$\tau = \frac{P}{(d + c)b}$$

Besarnya tegangan bending maksimum pada bagian permukaan (facing bending stress) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d + c)b}$$

Kekakuan bending komposit sandwich dengan permukaan yang sama menurut ASTM C 393, adalah :

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12}$$

Dimana :

- τ = Tegangan geser core (Mpa)
- σ = Kekuatan bending permukaan sandwich (Mpa)
- P = Load pada midspan (N)
- L = Panjang span (mm)
- t = Tebal skin (mm)
- d = Tebal Sandwich (mm)
- c = Tebal core (mm)
- b = Lebar sandwich (mm)
- E = Modulus elastisitas/skin (Mpa)
- D = Kekakuan bending sandwich (Nmm²)

2.8 Modus Kegagalan pada Komposit

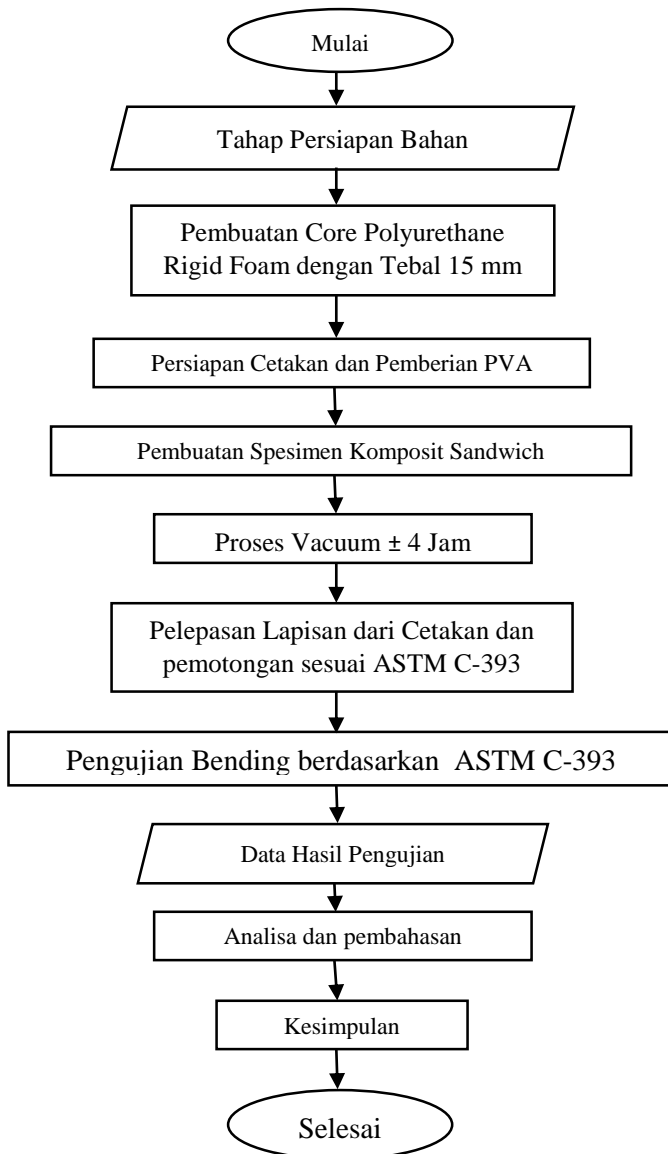
Pada spesimen bending umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposisi mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit diberi beban. Dengan beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlamina menyebabkan delaminasi pada spesimen bending.

Model kegagalan komposit sandwich akibat mengalami tegangan bending (three point bending) biasanya berupa face yield/ micro buckling, core shear, core crushing, dan

indentation/face wrinkle. Kegagalan micro buckling biasanya tebal core. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan bending secara drastis. Kerusakan ipe gagal core shear tebal dengan span yang pendek. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan core yang digunakan. Kegagalan indentation/face wrinkle akan muncul pada balok sandwich. Dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan metode kegagalan lainnya. Kegagalan bond failure ditunjukkan oleh terlepasnya core dengan skin karena tidak mampu menahan beban geser pada interface.

Kegagalan pada komposit sandwich sering terjadi dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Bagian inti komposit sandwich pada saat menerima gaya mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami seringkali melebihi tegangan normal yang mampu ditahan oleh inti tersebut, sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit

BAB III METODELOGI



3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain :

1. Mesin uji bending“Universal Testing Machine” GOTECH GT-7001-LC50
2. Pompa vacuum
3. Timbangan
4. Gerinda pemotong
5. Gunting besi dan sarung tangan
6. Jangka sorong dan Penggaris
7. Gelas plastik
8. Selang vacuum PVC
9. Resin infusion silicon connector
10. Sealant Tape
11. Peel Ply
12. Bagging Film
13. Catchpot
14. Clamp
15. Spiral warp
16. Flow media

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah :

1. Serat carbon fiber twil
2. Serat fiber e-glass woven rovings 300
3. Matrik resin carbon fiber dan katalis, promotor
4. Core polyurethane rigid foam tebal 15mm
5. PVA Release Agent

3.2 Proses Pembuatan

3.2.1 Penyiapan Bahan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyiapan bahan antara lain :

1. Menyiapkan carbon fiber twil dan fiber e-glass woven rovings 300 ukur dan tandai sesuai ukuran yang di inginkan.
2. Memotong carbon fiber twil dan fiber e-glass woven rovings 300 sebesar dimensi yang telah diukur dan ditandai.
3. Mempersiapkan cetakan yang datar dan halus, lapisi cetakan menggunakan PVA bergantian secara merata (5-8 lapis).
4. Menyiapkan resin carbon fiber dengan katalis dan promotor dengan perbandingan 3 : 1.
5. Menyiapkan polyurethan komponen A dan komponen B dengan perbandingan 1 : 1.



a



b

Gambar 3.1 a. Campuran resin yang telah di ukur menggunakan timbangan. b. Polyurethane komponen A dan komponen B

3.2.2 Proses Pengerjaan Spesimen

Proses pembuatan komposit sandwich :

1. Membuat core dari polyurethan rigid foam dengan mencampur komponen A dan komponen B, lalu mengaduknya.
2. Menuangkan campuran polyurethan ke dalam cetakan, kemudian ditunggu hingga mengembang.
3. Setelah kering angkat core dari cetakan dan bersihkan cetakan.
4. Setelah PVA kering olesi resin secara merata pada permukaan cetakan yang telah diberi PVA. Tata carbon fiber twil pada cetakan dan olesi resin pada permukaan serat yang telah ditata, pastikan serat memenuhi seluruh bagian cetakan dan terolesi resin secara merata.
5. Setelah Karbon Fiber Plain sudah ditata dan diolesi resin pada cetakan lalu tata dan fiber e-glass woven rovings 300 dan olesi resin di permukaan, langkah selanjutnya tata core polyurethan pada bagian atas Karbon Fiber Plan. Setelah core ditata olesi dengan resin kembali dan lapis bagian atas core dengan dan fiber e-glass woven rovings 300 olesi resin kemudian lapis dengan karbon fiber twil dan oleskan resin dengan rata.
6. Setelah lapisan sandwich tertata rapi, tempelkan sealant tape (penyekat udara) di daerah sisi cetakan.
7. Tutupi dengan peel ply, lalu ditutupi dengan flow media, setelah semua tertata rapi bungkus dengan menggunakan bagging film dan rekatkan dengan sealant tape pada bagian pinggiran cetakan.

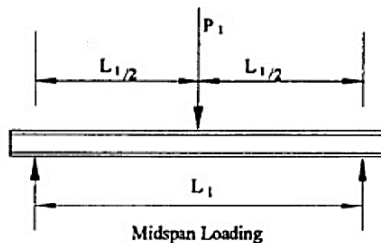
8. Pemasangan instalasi peralatan Pompa Vacuum yaitu memasangkan selang saluran yang menghubungkan cetakan sampai pada vacuum pump instalasi meliputi pompa vacuum dengan catchpot pastikan bahwa tidak ada kebocoran pada setiap sambungan.
9. Setelah selang instalasi terpasang kemudian hidupkan pompa vacuum.
10. Menguji kevacuuman, pada proses ini matikan pompa vacuum untuk sementara, selanjutnya cek pada sisi cetakan yang telah di sealentape dan pada selang yang menghubungkan cetakan dengan chatpot, chatpot dengan pompa vacuum. Jika tidak terdengar adanya angin keluar maka kondisi saluran dinyatakan vacuum (tidak bocor).
11. Lalu tunggu proses vacuum hingga 2 jam
12. Setelah proses vacuum infusion selesai matikan pompa vacuum dan tunggu 1 hari untuk memastikan resin mengering sempurna pada lapisan sandwich, setelah kering dan mengeras selanjutnya ambil dan lepas lapisan sandwich dari cetakan.
13. Lalu lakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda kecepatan tinggi untuk dibuat spesimen yang berukuran sesuai standar ASTM C393 untuk pengujian bending.



Gambar 3.2 Proses pembuatan komposit metode vacuum bagging

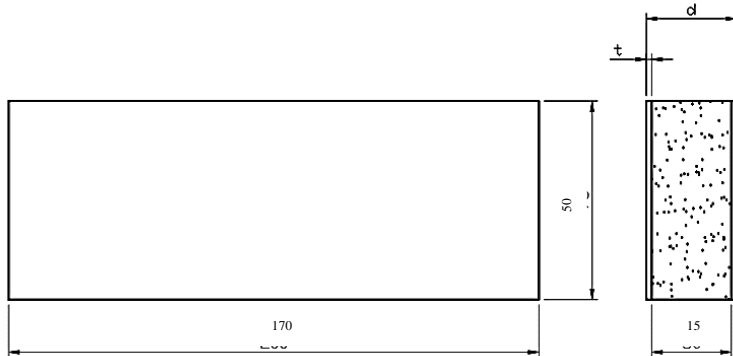
3.3 Pengujian Spesimen Uji Bending

Pengujian bending komposit sandwich ini menggunakan metode three point bending. Panjang span (L) dalam pengujian ini adalah 12 mm dengan pembebanan maksimum 490,5N(P). Pengujian bending menggunakan standar uji ASTM C 393-00 (sandwich). Mesin yang digunakan untuk uji bending sedapat mungkin mampu menjaga agar kecepatan pembebanan tetap konstan selama pengujian. Uji bending ini menggunakan Mesin GOTECH GT-7001-LC50. Skema pengujian bending komposit sandwich ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema pengujian bending komposit sandwich

Bentuk dari spesimen uji bending ASTM C393 komposit sandwich adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Sketsa dimensi benda uji

Keterangan :

- | | | |
|---|--------------------|------|
| b | = lebar spesimen | (mm) |
| c | = tebal core | (mm) |
| d | = tebal spesimen | (mm) |
| t | = tebal skin | (mm) |
| p | = panjang spesimen | (mm) |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bending Komposit Sandwich Core Polyurethane

Pengujian bending dilakukan dengan berdasarkan pada standar ASTM C 393. dengan indektor 12 mm dan panjang penumpu (span length) pada pengujian sebesar 120 mm dengan skala pembebanan 490,5 N. Hasil pengujian bending terhadap masing-masing tiga spesimen uji komposit sandwich tiap variasi tebal inti pada komposit sandwich ditampilkan pada tabel.

Tabel 4.1 Data Ukuran Spesimen Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	L (mm)	b (mm)	d (mm)	c (mm)	t (mm)
Sandwich 0°	SUB-1	120	50	17,3	14,5	1,4
	SUB-2	120	50	19,5	16,1	1,7
	SUB-3	120	50	20	17,4	1,3
Sandwich 30°	SUB-4	120	50	19,3	16,1	1,6
	SUB-5	120	50	18	14,8	1,6
	SUB-6	120	50	15	12,2	1,4
Sandwich 45°	SUB-7	120	50	19,3	17,3	1
	SUB-8	120	50	20	17,4	1,3
	SUB-9	120	50	18,7	15,7	1,5

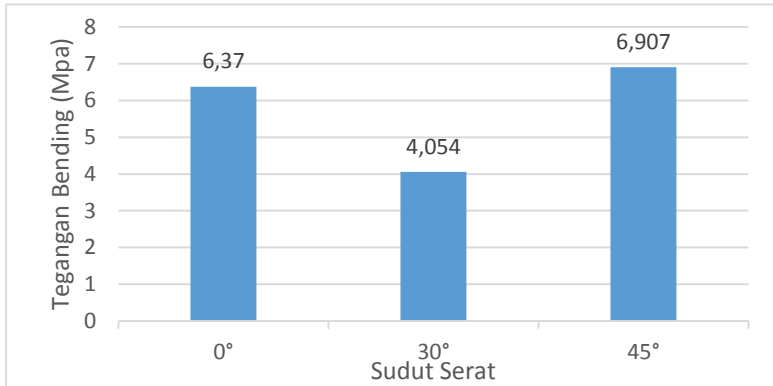
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Spesimen Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	W (g)	P (N)	E (Mpa)	τ (Mpa)		σ (Mpa)	
Sandwich 0°	SUB-1	55	233	3,7	0,146	0,164	6,28	6,37
	SUB-2	40	341	5,5	0,191		6,761	
	SUB-3	60	294	4,7	0,157		5,549	
Sandwich 30°	SUB-4	50	224	3,6	0,126	0,103	4,746	4,054
	SUB-5	60	158	2,5	0,096		3,613	
	SUB-6	78	122	2	0,089		3,803	
Sandwich 45°	SUB-7	77	221	3,5	0,12	0,141	7,746	6,907
	SUB-8	60	245	3,9	0,131		6,047	
	SUB-9	80	298	4,8	0,173		6,93	

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Spesimen Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	$D \times 10^3$ (N-mm ²)		Momen (Nmm)		Massa (gr)	
Sandwich 0°	SUB-1	32,823	53,536	6990	8680	55	51,67
	SUB-2	74,286		10230		40	
	SUB-3	53,501		8820		60	
Sandwich 30°	SUB-4	45,236	28,403	6720	5040	50	62,67
	SUB-5	26,981		4740		60	
	SUB-6	12,992		3660		78	
Sandwich 45°	SUB-7	29,332	42,371	6630	7640	77	72,33
	SUB-8	44,394		7350		60	
	SUB-9	53,386		8940		80	

4.1.1 Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich

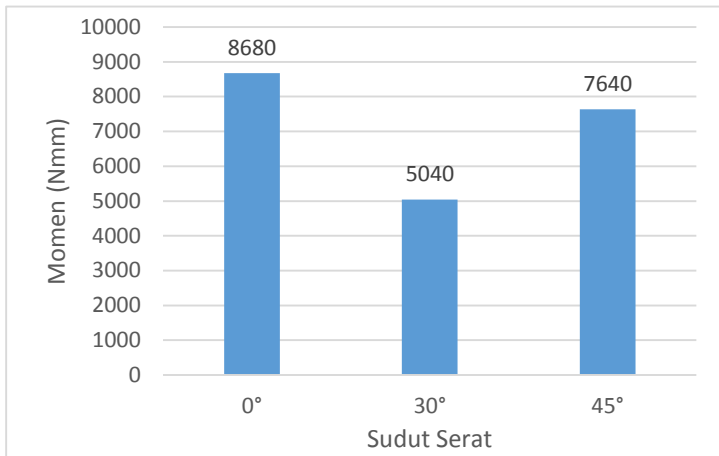


Gambar 4.1 Perbandingan rata-rata tegangan bending komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Dari gambar 4.2 dapat dilihat Grafik tegangan bending komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah yang berbeda. Pernyataan tersebut berdasarkan pada persamaan ASTM C 393 mengenai facing bending stress.

Tegangan bending rata-rata pada komposit sandwich dengan sudut serat 0° adalah 6,37 Mpa, sedangkan pada komposit sandwich dengan sudut serat 30° adalah 4,054 Mpa atau lebih rendah 36,35% dari sudut serat 0°. Pada komposit sandwich sudut serat 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 6,907 Mpa atau naik sebesar 70,37% dari sudut serat 30°. Jadi tegangan bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 45° dan tegangan bending yang terendah adalah pada sudut serat 30°.

4.1.2 Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Momen Bending Komposit Karbon



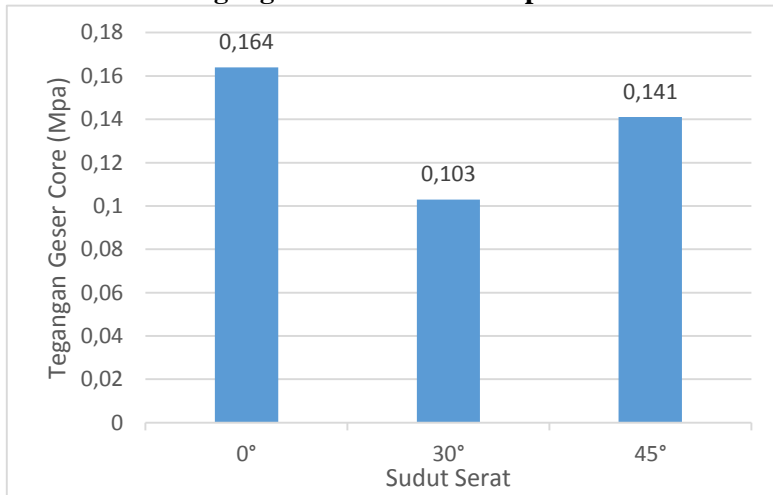
Gambar 4.2 Perbandingan momen komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Dari gambar 4.2 dapat dilihat Grafik momen komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan momen komposit akibat pengaruh perubahan arah yang berbeda. Pernyataan tersebut berdasarkan pada persamaan ASTM C 393.

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa momen terbesar didapatkan pada spesimen komposit sandwich dengan arah sudut skin 0° dengan nilai 8680 Nmm. Momen terendah adalah spesimen komposit sandwich dengan arah sudut serat 30° dengan nilai momen sebesar 5040 Nmm. Pada gambar 4.2 terlihat nilai momen bending tidak stabil, hal ini disebabkan kemampuan tiap spesimen menerima beban yang diterima berbeda-beda dan besarnya defleksi pada setiap spesimen berbeda pula. Momen rata-rata pada komposit sandwich dengan sudut serat 0° adalah

8680 Nmm, sedangkan pada komposit sandwich dengan sudut serat 30° adalah 5040 Nmm atau lebih rendah 41,93% dari sudut serat 0° . Pada komposit sandwich sudut serat 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 7640 Nmm atau naik sebesar 51,58% dari sudut serat 30° .

4.1.3 Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Tegangan Geser Core Komposit Sandwich

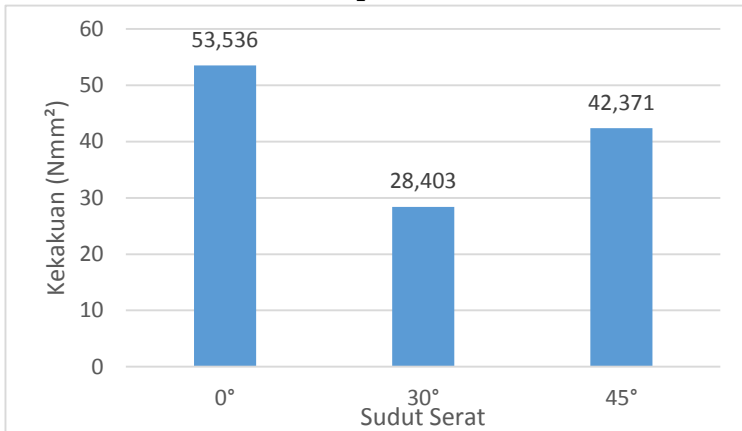


Gambar 4.3 Perbandingan tegangan geser core komposit sandwich terhadap variasi arah sudut serat

Dari gambar 4.3 dapat dilihat grafik tegangan geser inti terhadap variasi arah sudut serat menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti polyurethane pada komposit sandwich mengalami ketidakstabilan nilai tegangan geser interface inti dengan skin komposit sandwich seiring dengan arah sudut serat. Pernyataan tersebut berdasarkan ASTM C 393 mengenai core shear stress.

Teganga geser rata-rata pada komposit sandwich dengan sudut serat 0° adalah 0,164 Mpa, sedangkan pada komposit sandwich dengan sudut serat 30° adalah 0,103 Mpa atau lebih rendah 37,19% dari sudut serat 0° . Pada komposit sandwich sudut serat 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 0,141 Mpa atau naik sebesar 36,89% dari sudut serat 30° . Jadi tegangan geser core rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0° dan tegangan bending yang terendah adalah pada sudut serat 30° .

4.1.4 Pengaruh Variasi Arah Sudut Serat Terhadap Kekakuan Komposit Sandwich



Gambar 4.4 Perbandingan kekakuan terhadap arah sudut serat komposit sandwich

Dari gambar 4.4 didapat adanya ketidakstabilan kekakuan komposit akibat pengaruh arah sudut serat dengan sudut yang berbeda. Perhitungan ini didasarkan pada persamaan ASTM C 393. Dari gambar 4.4 didapatkan kekakuan terbesar didapatkan kekakuan terbesar didapatkan pada spesimen komposit sandwich dengan sudut serat 0°

adalah $53,536 \times 10^3 \text{ Nmm}^2$. Kekakuan terendah adalah spesimen komposit sandwich dengan sudut serat 30° dengan nilai kekakuan sebesar $28,403 \times 10^3 \text{ Nmm}^2$. Pada gambar 4.4 terlihat nilai kekakuan yang tidak stabil seiring dengan arah sudut serat. Pada spesimen dengan sudut serat 30° mengalami penurunan 46,94% dari sudut serat 0° dan pada sudut serat 45° mengalami kenaikan 49,17% dari sudut serat 30° .

4.2 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen Uji Bending

Setelah dilakukan pengujian bending spesimen diamati secara makro menggunakan kamera. Untuk melihat kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich dengan variasi arah sudut serat (skin) berdasarkan penjelasan pada bab 2.6 metode kegagalan komposit sandwich. Pada gambar 4.7 dibawah terlihat spesimmen sesudah dilakukan pengujian bending



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 (a) Spesimen 0° setelah pengujian bending (b) Spesimen 30° setelah pengujian bending (c) Spesimen 45° setelah pengujian bending

Gambar 4.5 menunjukkan kegagalan pada pengujian bending komposit sandwich dengan masing-masing arah sudut serat yang berbeda. Ketika diuji bending, semua titik pada spesimen akan mengalami tegangan yang besarnya berbeda. Pada umumnya komposit sandwich menerima tekan/kompresi pada skin bagian atas, tegangan geser pada bagian core, dan tegangan tarik pada bagian skin bawah. Kegagalan pada komposit sandwich sering terjadi dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Bagian inti komposit sandwich pada saat menerima gaya mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami seringkali melebihi tegangan geser yang mampu ditahan oleh inti tersebut, sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit.

Material polyurethane mengalami kegagalan tipe shear core karena tegangan geser terjadi yang sudah melewati tegangan geser ijin material core itu sendiri, yang memiliki nilai sebesar 0,7 Mpa. Ketika inti sudah mengalami kerusakan, maka kemampuan material komposit sandwich untuk menerima tegangan bending akan berkurang sehingga tegangan ini akan lebih banyak diderita oleh skin. Kemampuan menahan beban pada skin cukup baik, ini dikarenakan skin yang cenderung keras dan getas sedangkan polyurethane memiliki sifat yang elastis. Pada pengujian bending bahan komposit spesimen tidak patah, hal ini dikarenakan struktur bahan komposit tidak homogen karena tersusun dari serat dan matriks yang dikarenakan beban didistribusikan dimasing lamina penyusun komposit dan didukung oleh penggunaan serat jenis Fiber E-Glass WR 300 dan Karbon Fiber Twil yang berbentuk seperti anyaman.

4.2.1 Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 0°



Gambar 4.6 Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 0°

Pada pengujian three point bending, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik dibagian bawah. Terlihat pada gambar 4.6 adalah pengamatan makro komposit sandwich dengan arah sudut 0° setelah pengujian bending. Terlihat mekanisme kegagalan secara keseluruhan dari komposit sandwich SUB 2 dan SUB 3 berupa *Indentation*, Indentation adalah salah satu dari beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich. Kegagalan indentation akan muncul pada balok sandwich dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya.

Pada komposit sandwich SUB 1 terlihat mekanisme kegagalan dari komposit sandwich didominasi oleh facesheet debonding. Facesheet debonding adalah terjadinya delaminasi antar inti dan kulit. Delaminasi antar inti dan kulit memperlihatkan bahwa nilai τ core yang kecil pada

SUB 1 sebesar 0,146 Mpa, τ core yang kecil menyebabkan interface tidak mampu menerima beban geser. Berbeda dengan variasi ketebalan SUT 2 dan SUT 3 yang memiliki τ core masih mampu menahan τ yang diterima benda uji yaitu sebesar 0,191 Mpa dan 0,157 Mpa.

4.2.2 Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 30°



Gambar 4.7 Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 30°

Pada pengujian three point bending, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik dibagian bawah. Terlihat pada gambar 4.7 adalah pengamatan makro komposit sandwich dengan arah sudut 30° setelah pengujian bending. Terlihat mekanisme kegagalan secara keseluruhan dari komposit sandwich SUB 4 dan SUB 5 berupa *Indentation*, *Indentation* adalah salah satu dari beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich. Kegagalan *indentation* akan muncul pada balok sandwich dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya.

Pada komposit sandwich SUT 6 terlihat mekanisme kegagalan dari komposit sandwich didominasi oleh facesheet debonding. Facesheet debonding adalah terjadinya delaminasi antar inti dan kulit. Delaminasi antar inti dan kulit memperlihatkan bahwa nilai τ core yang kecil pada SUT 6 sebesar 0,089 Mpa, τ core yang kecil menyebabkan interface tidak mampu menerima beban geser. Berbeda dengan variasi ketebalan SUT 4 dan SUT 5 yang memiliki τ core masih mampu menahan τ yang diterima benda uji yaitu sebesar 0,126 Mpa dan 0,096 Mpa.

4.2.3 Spesimen Komposit Sandwich dengan Arah Sudut 45°



Gambar 4.8 Foto tampak samping spesimen sandwich sudut 45°

Pada pengujian three point bending, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik di bagian bawah. Terlihat pada gambar 4.7 adalah pengamatan makro komposit sandwich dengan arah sudut 30° setelah pengujian bending. Terlihat mekanisme kegagalan secara keseluruhan dari komposit sandwich SUB 7 dan SUB 8 berupa *Indentation*, *Indentation* adalah salah satu dari

beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich. Kegagalan indentation akan muncul pada balok sandwich dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan skin dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya.

Pada komposit sandwich SUB 9 terlihat mekanisme kegagalan dari komposit sandwich didominasi oleh kerusakan berupa matrix cracking, delaminasi dan fiber pull out. Pada pengujian three point bending, spesimen akan mendapatkan gaya tekan dibagian atas dan gaya tarik dibagian bawah. Fenomena kerusakan yang terjadi pada pengujian bending yaitu fiber pull out, fiber pull out terjadi pada bagian bawah/sisi tarik dari spesimen. Hal tersebut terjadi karena penguat serat tercabut akibat tidak kuat menerima beban tarik akibat pengujian bending. Matrix cracking berada pada sekitar bagian tengah hanya terdapat epoxy. Matrix dan core cracking ini disebabkan karena retakan dari matriks akibat regangan yang diterima matriks telah melebihi batas regangan dari matriks tersebut yang diteruskan pada core. Delaminasi pada lapisan skin bawah yang disebabkan karena beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kerusakan pada komposit tersebut.\

4.3 Pembahasan

Pada pengujian bending didapatkan ketidakstabilan grafik tegangan bending dan tegangan geser core di setiap material komposit sandwich dengan perubahan arah sudut serat 0° , 30° , 45° . Nilai dari kekakuan turun pada sudut 30° dan naik kembali pada sudut 0° dan 45° . Nilai tegangan bending tertinggi terdapat pada material komposit dengan

arah sudut 45° , sedangkan nilai tegangan geser core tertinggi terdapat pada material komposit dengan arah sudut 0° . Nilai kekakuan dan nilai momen tertinggi didapatkan pada material dengan arah sudut 0° . Faktor-faktor yang berpengaruh pada besar kecil nilai tegangan bending, tegangan geser core, kekakuan dan momen adalah arah sudut serat komposit. Dengan menggunakan karbon fiber twill yang bersifat getas dan keras pada bagian permukaan dengan perpaduan fiber e-glass woven rovings 300 yang bersifat ulet dan kuat maka di dapat material yang bersifat keduanya. Dibuktikan dari hasil pengujian three point bending, pada material komposit tidak ada yang mengalami kegagalan pecah atau retak pada skin hanya terdapat retak pada core polyurethan, dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.1-4.3.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data-data dan hasil perhitungan yang diperoleh dari pengujian bending komposit sandwich dengan perbandingan arah sudut serat, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan bending komposit sandwich dengan perubahan arah sudut serat memiliki ketidakstabilan pada diagram dengan perubahan arah sudut serat. Pada komposit sandwich dengan sudut serat 0° , nilai tegangan bending rata-ratanya adalah 6,37 Mpa sedangkan pada komposit sandwich dengan arah sudut 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 6,907 Mpa atau naik sebesar 8,43%, dan tegangan bending rata-rata yang terendah pada arah sudut 30° adalah 4,054 Mpa atau turun 36,35% dari arah sudut 0° . Dikarenakan oleh perbedaan arah sudut skin yang menyebabkan perbedaan penerimaan tegangan skin atas dan bawah.
2. Kekakuan bending komposit sandwich dengan perubahan arah sudut serat memiliki ketidakstabilan pada diagram dengan perubahan arah sudut serat. Pada komposit sandwich dengan arah sudut serat 0° , kekakuan bending rata-ratanya adalah $53,536 \times 10^3$ Nmm² sedangkan pada komposit sandwich dengan arah sudut serat 30° kekakuan bending rata-ratanya adalah $28,403 \times 10^3$ Nmm² atau menurun sebesar 46,94%.
3. Kegagalan komposit sandwich didominasi oleh indentation pada semua arah sudut dan kerusakan facesheet debonding terjadi pada arah sudut 0° dan 30° . Sedangkan pada arah sudut 45° terdapat kerusakan matrix cracking.

5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa hasil pengujian ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan hasil pengujian ini. Selain itu penulis juga menyarankan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan komposit, antara lain:

1. Dapat dikembangkan dengan variasi-variasi lain seperti ketebalan *core*, ketebalan *skin* dan perubahan bahan dari *core* untuk mengembangkan teknologi komposit *sandwich* yang ada.
2. Memperhitungkan tebal *core* sebaik-baiknya untuk menghindari resiko-resiko kegagalan yang terjadi.
3. Dengan adanya pelemahan pada bagian inti terhadap kulitnya, maka untuk penelitian lebih lanjut diperlukan bahan perekat yang lebih baik dan jenis material inti yang perlu di sempurnakan.
4. Diperlukan analisa mikroskopik lebih lanjut mengenai struktur dan analisa daerah patahan hasil uji mekanik pada uji bending

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C393-9, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Construction*, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, United States.

Kaw, Autar K. 2006. *Mechanics of composite materials*: Second Edition. United State of America: Taylor & Francis Group.

Pradana, Bhima Poetra. 2016. Pengaruh Variasi Arah Serat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat E-Glass Dengan Core Polyurethane Rigid Foam. Surabaya: D3 Teknik Mesin ITS.

Ardiyanto, Pramaditya. 2014. Analisa Pengaruh Ketebalan Inti (Core) Polyurethane Terhadap Karakteristik Bending Komposit Sandwich. Surabaya: Teknik Mesin ITS.

Febriyanto, Satrio. 2011. Penggunaan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich Untuk Aplikasi Kapal Bersayap Wise-8. Depok: Fisika UI.

Tododjahi, Jusuf B., Boimau, Kristomus., dan Limbong, Ishak S., Okt 2014. "LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana", Vol. 01, No. 02.

Steeves, Cariag A., Fleck, Norman A., March 2004. *Collapse Mechanisms Of Sandwich Beam With Composite Faces and a foam core, Loaded In Three-Point Bending*, Part I: analytical Models And Minimum Weight Design

Efinda. 2014. "Polymer Material Propertise" <URL: [www.eufinda.com /Polymers Propertise of Polyurethane {casting resin, liquid}>](http://www.eufinda.com/Polymers%20Propertise%20of%20Polyurethane%20{casting%20resin,%20liquid}%20)

Muchtiwibowo, Rio Leksa., Manik, Parlindungan., Jokosisworo, Sarjito, Januari 2016. “Jurnal Teknik Perkapalan”, Vol.4, No. 1.

<https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/VacuumBag-7th-Ed.pdf>

Diharjo K. 2011. Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Gelas dengan *Core Divinycell-PVC H-60* (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat dan Tebal *Core* terhadap Kekuatan *Bending*). Surakarta: Teknik Mesin FT UNS.

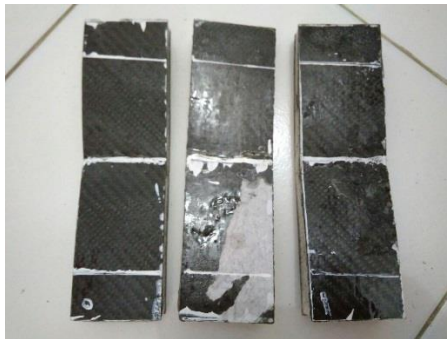
Stevin. 2018. “Pusa Polyurethane. Jenis, Properti, Karakteristik, Ruang Lingkup” <URL : <https://heatylab.com/id/polyurethane-foam-types-properties-characteristics-scope/>>

LAMPIRAN 1

Foto Spesimen Setelah Pengujian Pada Arah Serat 0°
Gambar tampak samping



Gambar tampak depan



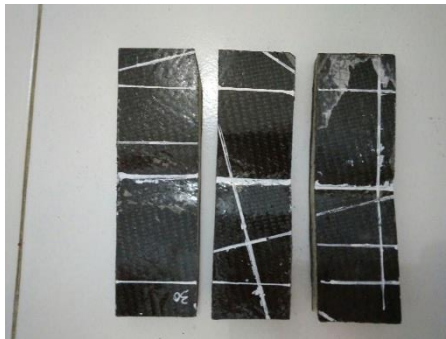
Gambar tampak belakang



Foto Spesimen Setelah Pengujian Pada Arah Serat 30°
Gambar tampak samping



Gambar tampak depan



Gambar tampak belakang

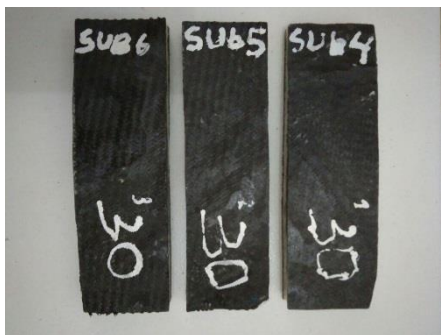
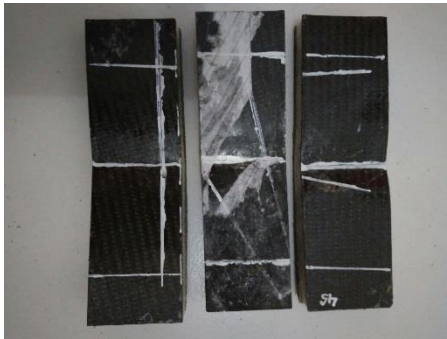


Foto Spesimen Setelah Pengujian Pada Arah Serat 45°
Gambar tampak samping



Gambar tampak depan



Gambar tampak belakang



LAMPIRAN 2

Polyurethane rigid foam

Polyurethane adalah sebuah bahan atau material yang terdapat urethane grub (-NH-CO-O-) di dalamnya, dimana merupakan hasil reaksi dari campuran dua komponen bahan kimia Komponen A (POLYOL) dan Komponen B (ISOCYANATE) yang diaduk (mixing) secara bersama-sama, sehingga terjadi reaksi kimia (Curing) dan membentuk foam.

Ada dua jenis komposisi busa poliuretan:

- bahan mentah sebelum persiapan
- produk akhir itu sendiri adalah busa poliuretan

Bahan mentah diproduksi dalam bentuk dua komponen:

- Komponen A. Ini terdiri dari polioliol, zat pembusa dalam bentuk air atau freon, plasticizer, aktivator, flame retardants, emulsifier, dll
- Komponen B. Isocyanate dari tipe MDI. Setelah reaksi dengan polioliol, itu membentuk busa busa poliuretan

Saat mencampur komponen, mereka berbusa, tahan beberapa puluh detik. Sel busa memiliki ukuran dari 0,1 hingga 1 mm. Permukaan busa padat, tanpa sel yang hancur.

Bahan jadi memiliki tiga varietas:

1. Elastis. Densitas bulk rendah, bagian penting dari sel yang belum dibuka. Ini memberikan elastisitas dan "kelembutan" materi. Nama pemasarannya adalah karet busa.
2. Semi-kaku. Kepadatan lebih tinggi dari elastis, karakteristik juga meningkat.
3. Busa poliuretan kaku. Yang paling umum digunakan. Kepadatan hingga 35 - 50 kg / cu. m dan di atas. Performa tinggi dengan kekuatan, insulasi panas-hidro dan uap, adhesi, dll.

keuntungan Menggunakan polyurethane rigid foam :

1. adhesi yang baik, sehingga sangat kompatibel dengan bahan apa pun, terlepas dari apakah itu beton, batu bata, kaca atau bahan lainnya.
 2. Polyurethane bahan cukup ringan, sehingga tidak memuat konstruksi keseluruhan bangunan sangat penting untuk isolasi termal atap.
 3. Kehidupan pelayanan busa polyurethane setidaknya 20 tahun
 4. bentuk permukaan tidak masalah, karena itu diterapkan dalam keadaan cair, sehingga memenuhi seluruh ruang dengan sempurna.
 5. tidak perlu membuat pengencang tambahan, dan tidak diperlukan perawatan permukaan khusus.
 6. produk busa poliuretan memiliki berat yang rendah, sehingga pembobotan struktur akan minimal
 7. saat busa poliuretan melindungi dinding, juga meningkatkan karakteristik dan kekuatan isolasi suara mereka.
 8. mempertahankan karakteristiknya dalam rentang suhu dari $-200 \dots + 200^{\circ} \text{C}$.
 9. mount polyurethane dapat berada di permukaan apapun, tanpa perlu menggunakan pengencang.
- Kelemahan menggunakan polyurethane rigid foam :
1. Di bawah pengaruh ultraviolet, material mulai cepat habis dan kehilangan karakteristiknya. Untuk menghindari hal ini, setelah aplikasi busa poliuretan perlu adanya pelindung untuk melindunginya, yang cocok untuk plester, cat, panel bahan yang berbeda
 2. Ini termasuk kategori bahan yang tidak mudah terbakar, oleh karena itu, di bawah pengaruh suhu tinggi tidak terbakar, tetapi mulai mencair. Begitu efek suhu dihilangkan, proses membara berhenti. Titik leleh dari polyurethane lebih dari $+ 200^{\circ} \text{C}$, dan pada $+ 650^{\circ} \text{C}$ dapat menyala.
- Karakteristik pada polyurethane rigid foam :

1. Kekuatan. Ditandai dengan stres yang merusak, mencapai mana material mulai rusak. Diukur dalam pascal dan unit, kelipatannya. Untuk busa poliuretan adalah: untuk kompresi - dari 0,15 hingga 1,0 MPa, untuk pembengkokan - dari 0,35 hingga 1,9 MPa.
2. Keras. Polyurethane juga memiliki karakteristik penyerap suara yang baik, yang bergantung pada sifat elastis, ketebalan dan redamannya. Sifat kedap suara maksimum memiliki polyurethane semi-elastis.
3. Kapasitas penyerapan kelembaban. Polyurethane menyerap kelembaban sangat buruk, semakin padat polyurethane semakin sedikit ia dapat menyerap kelembaban. Untuk meningkatkan ketahanan air di polyurethane zat khusus diperkenalkan. Sebagai contoh minyak jarak, yang dimasukkan ke dalam isolasi ini mengurangi karakteristik penyerap air sebanyak 4 kali.
4. Toksisitas (kompatibilitas ekologi). Komponen untuk produksi memiliki sifat beracun rendah, jadi mereka harus ditangani dengan hati-hati. Busa poliuretan busa dan beku tidak mewakili bahaya kesehatan, karena itu benar-benar aman. Departemen Kesehatan RSFSR kembali pada tahun 1986, Resolusi No. 07 / 6-561 diizinkan untuk digunakan dalam bangunan tempat tinggal.
5. Keamanan ekologi. Pengerasan polyurethane terjadi selama 20-30 detik, setelah itu menjadi benar-benar aman bagi manusia dan lingkungan

Kesimpulan mengapa menggunakan core polyurethane :

Dari sifat yang telah disebutkan diatas, polyurethane cocok untuk digunakasn sebagai core atau inti pada komposit sandwich, dengan menggunakan skin berbahan karbon fiber twill dan

fiber e-glass. Sifat dari karbon yang keras dan getas ditambah dengan fiber e-glass yang bersifat kuat dan ulet, akan menimbulkan sifat komposit yang kuat dan keras dan juga bersifat ulet dan getas. Dengan menggunakan material inti berupa polyurethane yang sangat ringan, maka akan didapatkan komposit yang mempunyai sifat kuat, kaku, ringan. Maka sifat dari komposit sandwich tersebut cocok digunakan untuk bodi mobil Nogogeni agar didapat beban yang ringan dan sifat yang kuat sehingga didapat pemakaian bahan bakar yang sehemat mungkin.



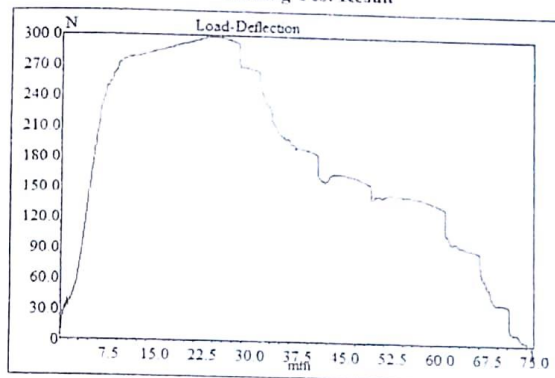
ITS

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-9	50.00	15.00	120	298.4	4.8
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

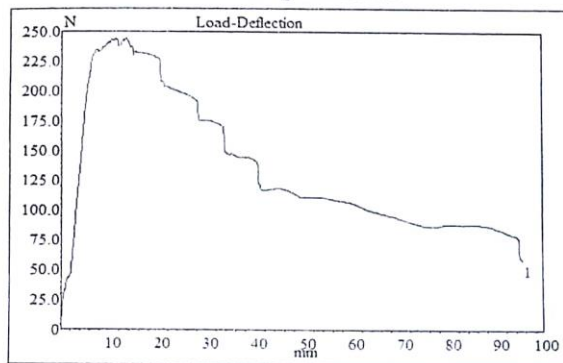


ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-8	50.00	15.00	120	244.7	3.9
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

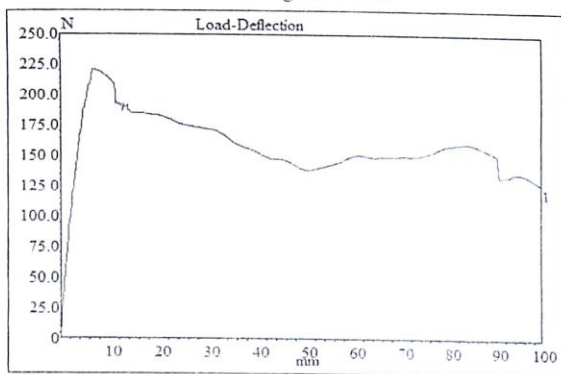


ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-7	50.00	15.00	120	221.4	3.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



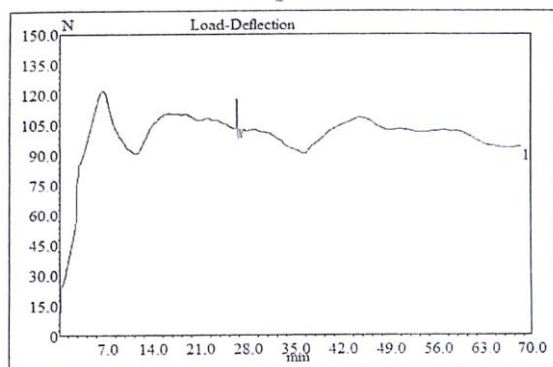
ITS

Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex Strength MPa
SUB-6	50.00	15.00	120	122.2	2.0
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

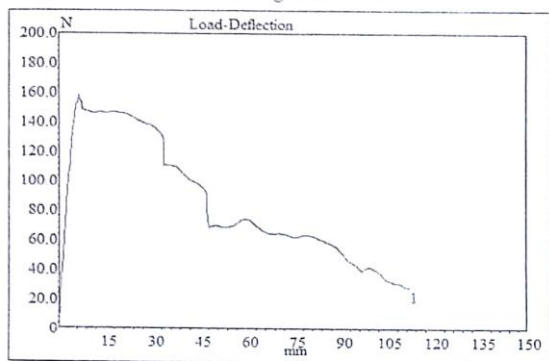


ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-5	50.00	15.00	120	158.3	2.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



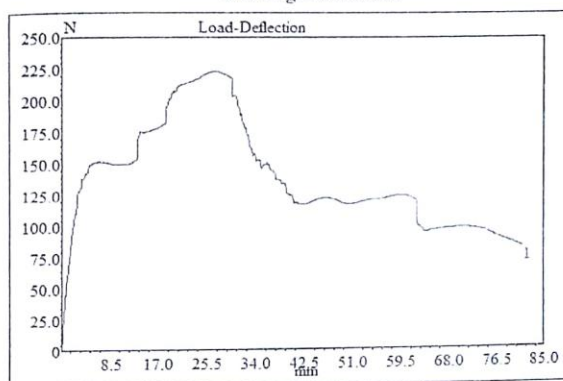
ITS

Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-4	50.00	15.00	120	223.7	3.6
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



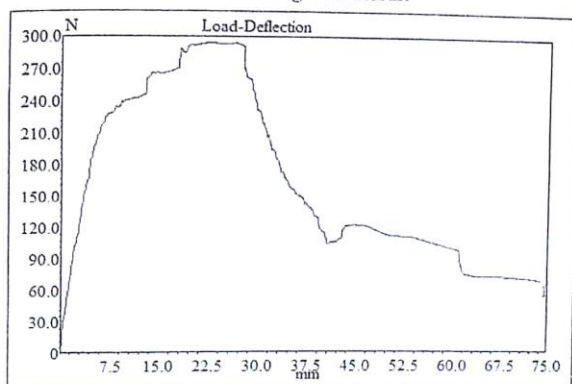
ITS

Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-3	50.00	15.00	120	294.4	4.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---



ITS

Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi

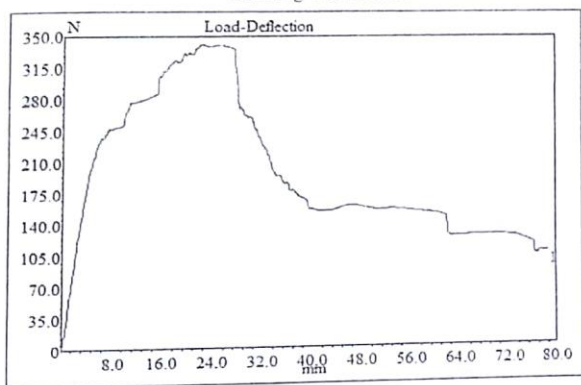
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex Strength MPa
SUB-2	50.00	15.00	120	341.0	5.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

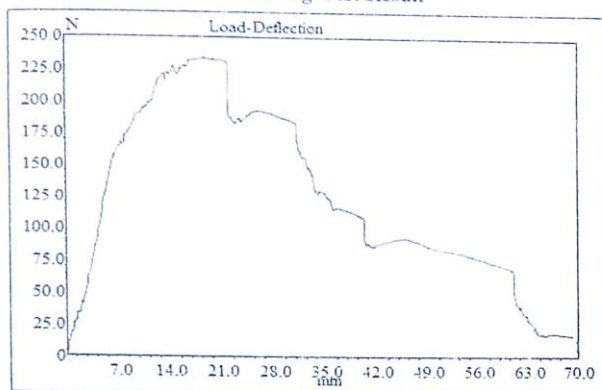


ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
SUB-1	50.00	15.00	120	233.0	3.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---